

(2) 改良ジャーテスト法による天然有機着色水の直接砂ろ過性能の評価

MODIFIED JAR-TEST TO EVALUATE THE TREATABILITY OF NATURALLY
COLORED SURFACE WATER IN DIRECT SAND FILTRATION

海老江 邦雄*・李 富生**・湯浅 晶***

Kunio EBIE*, Fusheng LI** and Akira YUASA***

ABSTRACT ; A modified jar-test method, comprising a rapid mixing process with a time of 5 minutes and a filtration process with glass fiber filters or membrane filters, was used to evaluate the quality of filtered water in direct sand filtration of surface water with low turbidity and relatively high color content. The results showed that with the application of this method, the time needed for evaluating the quality of filtered water in direct sand filtration was greatly shortened (of several minutes), compared to about one hour with the conventional jar-test method. Furthermore, the estimation of the efficiency of several different types of coagulants in direct sand filtration by the modified jar-test method made clear that PACl (Poly-aluminum chloride) was more effective than alum, and the cationic polymer performed much better than either the nonionic or the anionic polymer.

KEYWORDS ; Jar-test, Color, Coagulation, Direct filtration, Zeta potential, Particle size

1. はじめに

直接ろ過法は、当初は、低濁原水の処理に採用され、水質を損なうことなく従来の処理法より処理施設規模の縮小、凝集剤使用量の低下、維持管理の簡便性などを実現する経済的かつ省エネルギー的な方法として注目された。他方、本論におけるような低濁・高色度の天然有機着色水の処理への適用例は米国、豪州、カナダでの数ヶ所に限られており、現在のところ、その処理効果を十分な精度で予測できる状況にはなっていない。

直接ろ過による天然有機着色水の処理効果の予測には、これまで、ジャーテスト法とパイロット規模のろ過実験とが併用されてきた。しかし、この方法では結果を得るまでに相当長い時間がかかるという欠点がある。また、ろ過実験を省いて従来のジャーテスト法だけを採用するとしても、処理性能が緩速攪拌後に形成されたフロックの沈澱によって大きく左右されるため、直接ろ過の処理性能を正しく評価することにはならない。さらに、このジャーテストには1時間程度を要し、原水水質の急変時には、凝集剤の注入率やろ過速度の調整などに手間どり、処理水質の悪化を招くことが考えられる。そこで著者らは、直接ろ過の対象物質はマイクロフロックであること、またペーパーフィルターは非常に薄い充填ろ過層とみなしうることを考え、直接ろ過の処理性能の予測をジャーテストによる急速攪拌（凝集工程）とそれに続くペーパーフィルターによるろ過（ろ過工程）とからなる新しいジャーテスト法（以下、改良ジャーテスト法と称す）で行うこととした。この方法によれば、ろ過実験を行う必要がなくなる上、従来のジャーテストにおける緩速攪拌工程と沈澱工程がなくなるため、実験手順が簡単となり、実験時間も著しく短縮されるなど、大幅な改善

*北見工業大学土木開発工学科 教授 (Prof., Dept. of Civil Eng., Kitami Institute of Technology)

**岐阜大学大学院工学研究科 博士後期課程 (Dr. Course, Graduate School of Eng., Gifu University)

***岐阜大学流域環境研究センター 教授 (Prof., Center for River Basin Envir. Res., Gifu University)

を計ることができる。

本論では、最初に代表的な低濁、高色度の河川表流水を対象にペーパーフィルターろ過を加えた改良ジャーテストと直接砂ろ過を行い、これらの実験における結果の比較から、改良ジャーテスト法が直接ろ過の処理性能を

簡便、かつ速やかに評価できる方法であることを証明する。つぎに、種々の凝集剤を用いて改良ジャーテストを行い、直接ろ過による処理効果およびそれに及ぼす凝集剤の種類やpHなどの影響を色度除去率、フロックのゼータ電位と粒径分布などの動きから詳細に説明している。

2. 実験方法と実験装置

2.1 試料水と凝集剤

北見地方を流下する常呂川の低水温期における天然有機着色水を試料水として用いた。表1に、その代表的な水質項目の値を掲げた。同表で見られるように、原水の色度は濁度より数倍高い。凝集剤については、無機凝集剤としてポリ塩化アルミニウム (Al_2O_3 約10.5%, 以下PACと称す) と硫酸アルミニウム ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 16-18H_2O$, 以下alum

と称す) を、また有機性高分子凝集剤 (以下、ポリマーと称す) としては分子量 (50%中央値) がそれぞれ300万、1,000万、1,500万 (イオン化度は順に100, 0, 20%) のカチオン系、ノニオン系、アニオン系の3種類のポリマーを用いた。

2.2 改良ジャーテスト

原水1リッターをビーカーに採り、0.1N-HClまたは0.1N-NaOHを用いてpHを所定値に調整した後、表2に示す条件で所定量の凝集剤を注入して急速攪拌 (180rpm) を5分間行う。その後、混和液100mlずつを5.0 μm のメンブランフィルター (直接砂ろ過の結果との比較)、または0.9 μm のガラス繊維フィルター (凝集剤による処理効果の比較) でろ過 (減圧容器: VT-500; 減圧用フィルターホルダー: KSF-47; 吸引ポンプ: EP-01) し、ろ過に要する時間を記録するとともに、ろ液の濁度と色度およびろ過抵抗の動きを測定した。また、各条件で形成されたフロックの粒径分布については、混和液を5.0, 3.0, 1.0, 0.45 μm のメンブランフィルターで順次ろ過を行い、ろ過水の色度から求めた。フロック粒子のゼータ電位については顕微鏡電気泳動装置 (ブリッグスセル使用) を用いて測定した。極性交換前後に各12個の粒子の泳動速度を測定し、それぞれか

Table 1 Raw water quality during experiments

Item	Average	Minimum- Maximum
Temperature ($^{\circ}C$)	1.5	1.1 - 3.0
Turbidity (mg/l)	3.01	1.9 - 5.9
Color (Pt-Co-unit)	19.5	15.2- 26.9

Table 2 Modified Jar-Test and Direct Sand Filtration Conditions

Test No.	pH	PACI (mg/l)	Cationic polymer (mg/l)	Test No.	pH	PACI (mg/l)	Cationic polymer (mg/l)
1	7.0	0	-	9	5.5	12	-
2	7.0	4	-	10	5.5	16	-
3	7.0	8	-	11	7.0	8	0.5
4	7.0	12	-	12	7.0	8	1.0
5	7.0	16	-	13	7.0	16	0.1
6	7.0	20	-	14	7.0	16	0.3
7	7.0	30	-	15	7.0	16	0.5
8	5.5	8	-				

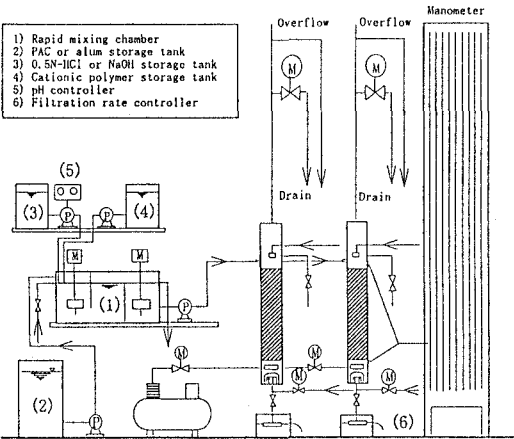


Fig.1 Schematic Diagram of Direct Sand Filtration Apparatus

ら最大値と最小値を除いた計20個の平均値からゼータ電位を算出した。さらにPAClとalumの両凝集剤をそれぞれ蒸留水に添加(0.89mg-Al/l)し、pHを所定値に調整したのち、急速攪拌を5分間行い、その後、0.1、0.45μmのメンブランフィルターを用いてろ過を行った。各ろ液中のアルミニウムをオキシン法によって定量することにより、アルミニウムの粒径ごとの存在割合を求めた。これに基づき、試料のpHがPAClとalum由来するアルミニウムの粒径に及ぼす影響について検討した。

2.3 直接砂ろ過実験

改良ジャーテストの結果との類似性を調べるため、図1に示す装置を用いて直接ろ過実験を行った。ろ過筒には有効径0.62mm、均等係数1.39の珪砂を空隙率44.3%で60cm厚に充填した。原水に所定量の凝集剤を注入し、急速攪拌を5分間行った後、混和液を直ちにろ過筒に導き、ろ速120m/dで20時間のろ過を行い、経時の損失水頭、原水とろ過水の色度と濁度などを測定した。凝集剤の添加条件は上記の表2に示した。

3. 実験結果と考察

3.1 改良ジャーテストと直接砂ろ過における結果の比較

図2と図3は、pH7.0、PACl注入の場合におけるメンブランフィルターによるろ過水量の増加に伴う色度流出率とろ過抵抗（試料水の一定量をろ過するに要する時間で表したものの）動きを示している。また図4と図5は、同条件における直接砂ろ過の色度流出率（ろ過水濁度は色度に随伴する動きを示したが、その詳細については3-4で述べる）と損失水頭の経時変化を示している。まず、図2と図4において色度流出率の動きを見ると、メンブランフィルター

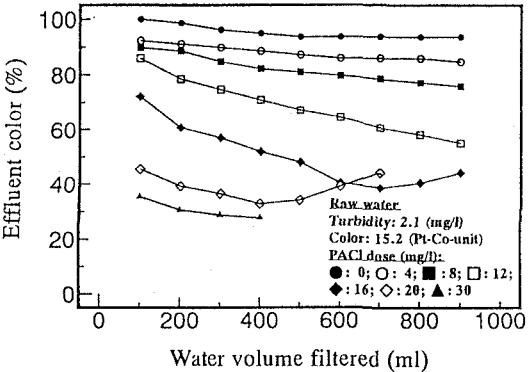


Fig.2 Effluent Color vs. Volume of Water Filtered in Modified Jar-Test at pH 7.0

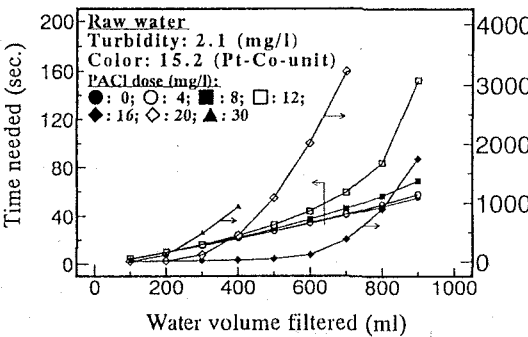


Fig.3 Filtration Time Needed vs. Volume of Water Filtered in Modified Jar-Test at pH 7.0

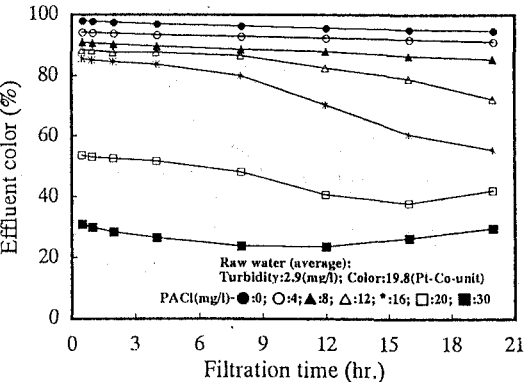


Fig.4 Effluent Color vs. Filtration Time in Direct Sand Filtration at pH 7.0

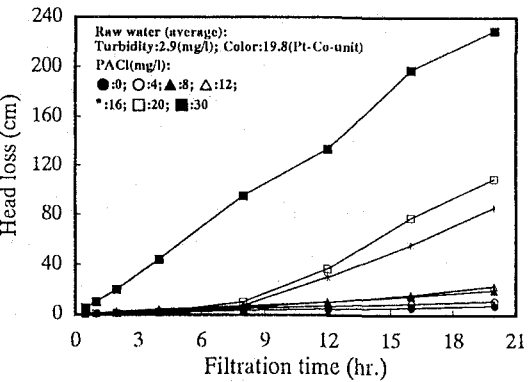


Fig.5 Head Loss vs. Filtration Time in Direct Sand Filtration at pH 7.0

と直接砂ろ過とはろ過機構が本質的に異なると一般に認識されてはいるが、その動きは非常に類似している。これは、砂ろ過におけるフロック粒子の殆どがろ層の上層10cm程度までの空隙内に抑留されたためと考えられる。つぎに、図3と図5に注目すると、いずれにおいてもろ過抵抗と損失水頭はろ過の進行に伴って上昇している。しかしながら、その上昇傾向は凝集剤の注入率が8mg/lまでは両者とも直線的であるが、注入率がこの値を越えると、砂ろ過よりメンブランフィルターによるろ過抵抗が急激に上昇している。これは、注入率が高くなると、メンブランフィルターではフィルター表面におけるケーキろ過の傾向が強まったのに対し、砂ろ層ではフロック粒子を深層に進入させたためと考えられる。このように、ろ過抵抗の増加に対しては砂ろ過が大きな緩衝能力を持っている。

Table 3 Analytical Results of Correlation between Average Color Removals in Modified Jar-Test and Direct Sand Filtration

Volume of water filtered in jar-test (ml)	Parameter	Direct sand filtration time (hr.)					
		2	4	6	8	12	20
100	r	0.94	0.95	0.97	0.98	0.98	0.98
	a	1.03	1.04	1.06	1.06	1.03	1.00
	b	-4.87	-3.70	-1.91	0.85	4.15	7.07
200	r	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.97
	a	1.02	1.03	1.05	1.05	1.02	1.03
	b	-5.31	-3.67	-1.53	1.29	4.53	4.55
400	r	0.92	0.93	0.94	0.96	0.97	0.97
	a	1.05	1.06	1.08	1.08	1.06	1.03
	b	-8.85	-7.31	-5.36	-2.75	0.39	3.16
600	r	0.91	0.92	0.94	0.96	0.97	0.97
	a	1.07	1.09	1.11	1.12	1.10	1.07
	b	-11.74	-10.32	-8.58	-6.20	-3.19	-0.44

表2の全ての実験条件に対し、改良ジャーテストと直接砂ろ過とから得られた色度除去率の直線回帰分析の結果を表3（rは相関係数、aは直線の勾配、bはy軸での切片を表す）と図6（一例としてろ過水量200ml，ろ過時間20hrsの場合）に示した。ろ過水量とろ過時間に関わらずいずれの場合にも高い相関係数（0.90以上）が得られた。また、改良ジャーテストによるろ過水色度除去率が0-100%の範囲内の任意値に対し、各条件のaとbを用いて直接砂ろ過による色度除去率を計算したところ両者の差は0.44-11.74%と小さかった。

以上のことから、改良ジャーテスト法によって、直接砂ろ過による天然有機着色水の処理性能を簡便、かつ短時間で予測できることが確認された。そこで、各凝集剤を用いて改良ジャーテストを行い、凝集剤による天然有機着色水の直接砂ろ過性能を検討することとした。

3.2 PAClとalumによる処理効果

1) pHと凝集剤注入率の変動に伴う色度除去率，フロックのゼータ電位などの動き

図7と図8は凝集剤としてPAClを16mg/l(0.89mg-Al/l)，alumを10.67mg/l(0.89mg-Al/l)注入した場合におけるpHと色度除去率およびpHとフロックのゼータ電位との関係を示している。最初に、色度除去率の動

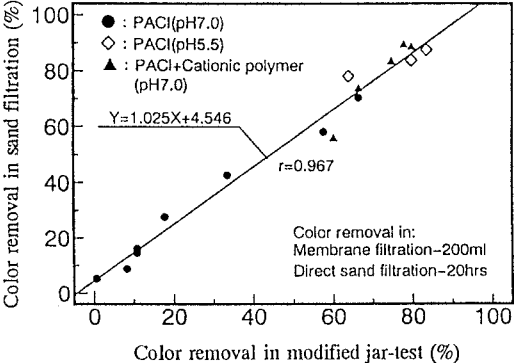


Fig.6 Relationship between Color Removals in Direct Sand Filtration and Modified Jar-Test

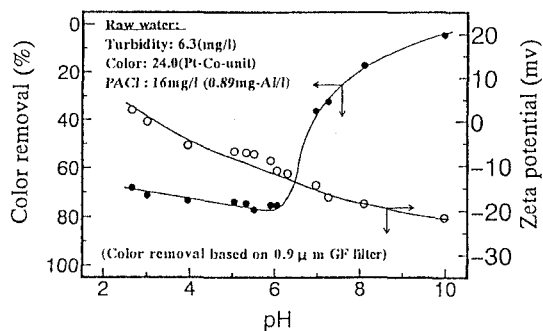


Fig.7 Variation of Color Removal and Zeta Potential of Flocs with pH (PACl)

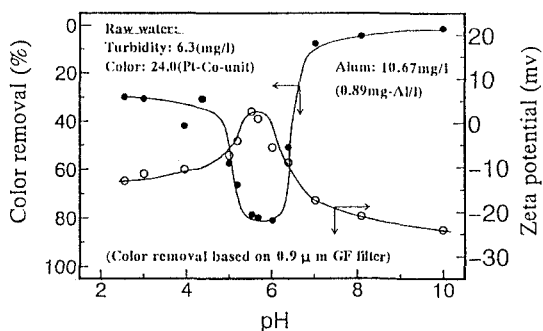


Fig.8 Variation of Color Removal and Zeta Potential of Flocs with pH (Alum)

きを比較すると、pH2-6付近の領域では、PAClでは70-75%程度と変動が小さいのに対し、alumではpH2-5付近までは30-40%程度であるが、pH5付近で急激に80%程度にまで上昇している。pH2-5付近までの除去率はPAClの方がほぼ35-40%ほど高かった。また、pHが5.5-6.0付近の領域では、両凝集剤とも除去率が最高となり、凝集剤による差は小さかった。さらに、pHが6.5~10の領域では、両凝集剤ともpH値の増加に伴って色度除去率が著しく低下するが、この領域でもPAClの方の除去率が10-30%程度高かった。全体として、alumによる凝集領域は狭く、PAClは広範に渡って効果を発揮している。

つぎに、フロックのゼータ電位の動きを比較すると、PAClの場合には、pHの増加に伴ってゼータ電位は徐々に低下してゆくのに対し、alumの場合には色度除去率の動きと対応する山型のゼータ電位の推移となるなど、両凝集剤による差が大きかった。最適凝集領域であるpH5.5付近におけるゼータ電位はそれぞれPAClでは-9.0mv、alumでは+2.5mvであった。

図9~図11は、pH3.0, 5.5, 7.0における凝集剤注入率と色度除去率および凝集剤注入率とフロックのゼータ電位の関係を示している。まず、色度除去率については、いずれの凝集剤においても、注入率がpH3.0では0.2mg-Al/l、pH5.5では1.1mg-Al/l、またpH7.0では1.7mg-Al/lまでは色度除去率が急激に上昇し、その上昇勾配はpHの低い方で大きかった。その後、注入率をさらに増加させると、いずれのpHの場合にも色度除去率の上昇は緩慢となり、最大除去率に接近していく。その最大値は、pH3.0の場合、注入率が

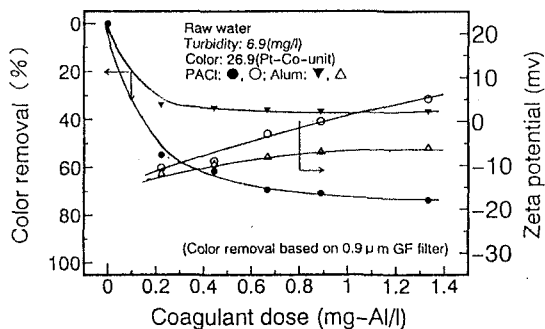


Fig.9 Variation of Color Removal and Zeta Potential of Flocs with Coagulant Dose at pH 3.0

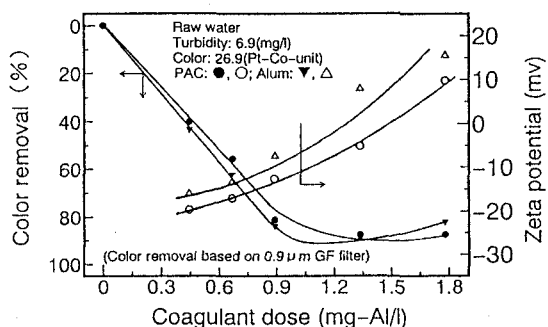


Fig.10 Variation of Color Removal and Zeta Potential of Flocs with Coagulant Dose at pH 5.5

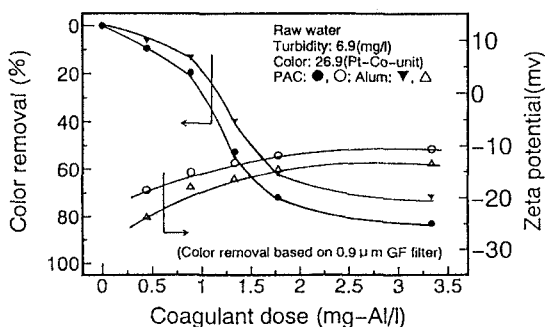


Fig.11 Variation of Color Removal and Zeta Potential of Flocs with Coagulant Dose at pH 7.0

0.7mg-Al/l程度でおおよそPAClでは70%、alumでは35%、pH5.5の場合、1.1mg-Al/lでいずれの凝集剤でも90%前後、およびpH7.0では3.3mg-Al/lで85%、70%程度となり、全体としてPAClを用いた方が、また、低薬注率（PAClの場合0.7mg-Al/lまで、alumの場合0.4mg-Al/lまで）ではpHが低い方で除去率が高く、大きな処理効果を示した。

また、フロックのゼータ電位については、いずれのpHにおいても、除去率の傾向と同様に、凝集剤注入率の増加とともにゼータ電位は上昇している。PAClとalumで最大除去率を示すゼータ電位は、pH3.0では+5.0mvと-8.0mv、pH5.5では-6.5mvと+6.0mv、pH7.0では-10mvと-14mvとなり、凝集剤の種類とpHによって異なることが分かった。

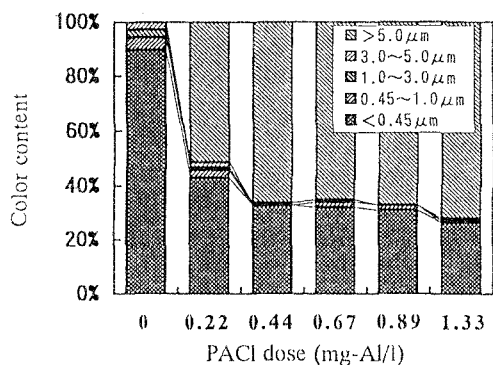


Fig.12 Size Distribution of Floc Particles at pH 3.0

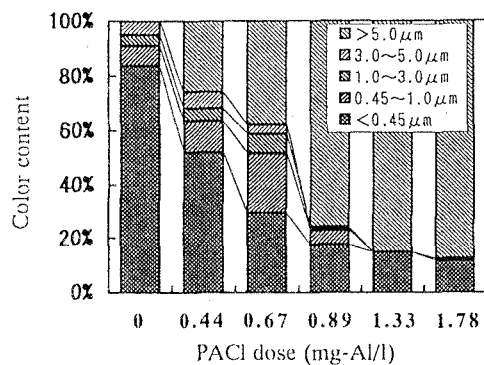


Fig.13 Size Distribution of Floc Particles at pH 5.5

図12~14は、一例としてPAClを用いた場合のフロックの粒径分布を示している。いずれのpHにおいても、凝集剤注入率の上昇とともに、0.45 μm 以下の未凝集成分が減少し、粒径5.0 μm 以上のフロックが増加している。注入率が低い場合には0.45~5.0 μm の中間粒子が多量に存在するが、注入率をある適切な値にまで増加させると、色度成分は0.45 μm 以下の未凝集成分と5.0 μm 以上のフロックの2種類だけとなり、中間粒子は認められなくなった。また、これらの図より、pH5.5(PACl:1.78mg-Al/l)における未凝集の色度成分の存在割合はpH7.0(PACl:3.34mg-Al/l)の場合より10%程度少ないことから、原水のpHを5.5付近に調整することが、低注入率で色度除去率を増加させ、後続の活性炭処理施設への負荷を軽減させるなど、種々の観点^{14, 15)}から有効と考えられる。

2) アルミニウムの存在形態と色度成分の除去

アルミニウム系凝集剤を用いた場合、濁質や色度成分などの凝集に直接関与するのは荷電中和能力を持つ溶解性のアルミニウムと架橋能力を持つ不溶性の水酸化アルミニウムであると指摘されている。そこで、これまで示したPAClとalumによる天然有機着色水の処理効果の違いからそれぞれの凝集機構について検討した。

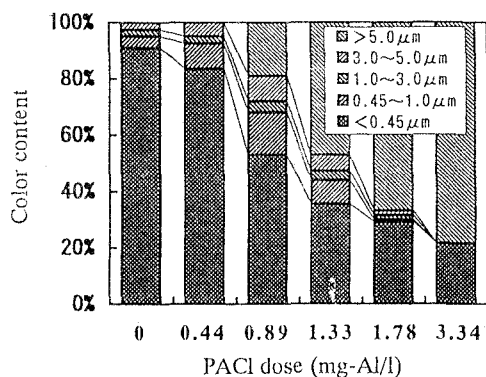


Fig.14 Size Distribution of Floc Particles at pH 7.0

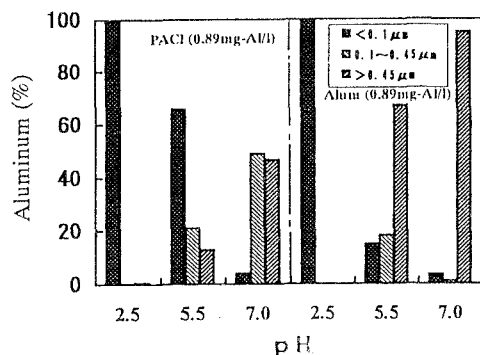


Fig.15 Size Distribution of Aluminum vs pH

図15は、等量のアルミニウム(0.89mg-Al/l)を含むPAClとalumを蒸留水に溶解させたときのpHとアルミニウムの粒径分布との関係を示している。pH2.5においては、全てのアルミニウムは0.1 μ m以下の溶解性成分として存在しており、凝集剤の違いによる差はない。pH5.5においては、両凝集剤とも0.1 μ m以下の成分の存在割合が低下(PAClでは全体の65%が0.1 μ m以下、alumではほぼ60%が不溶解性の0.45 μ m以上)し、0.1~0.45 μ m、0.45 μ m以上の割合が上昇した。pH7.0では、0.1 μ m以下のものがさらに減少しており、PAClの場合には0.1~0.45 μ mと0.45 μ m以上の二種類(47%ずつ)、alumの場合にはほぼ0.45 μ m以上のもののみとなった。このように、同一のpHにおいてもアルミニウムの存在形態は凝集剤によって異なっている。

これらのことから、pH2.5付近では正荷電を持つ0.1 μ m以下のアルミニウムと負荷電を持つ色度成分との荷電中和を基本とする相互反応または相互凝集、最適凝集領域のpH5.5付近では0.45 μ m以下のアルミニウムによる色度成分の荷電中和と0.45 μ m以上の不溶解性アルミニウムによる架橋作用、pH7.0では0.45 μ m以上の不溶解性アルミニウムによる色度成分の吸着がそれぞれ卓越すると考えられる。また、図7、8に示すPACl、alumを用いた場合のpHの変動(pH2.5、5.5、7.0)に伴うフロックのゼータ電位の動きは、図15に示すそれぞれ0.1 μ m以下、0.1~0.45 μ mのアルミニウムの動きと類似していることから、色度成分の荷電中和にはそれぞれこれらの寸法のアルミニウムが強く関与していると推測される。この傾向は、フルボ酸の凝集に参与するアルミニウムはPAClとalumによって、さらにpHによって異なるというHundt & O'Melia⁸⁾の結果と一致している。

以上のことから、上述の凝集剤を用いて天然有機着色水の直接砂ろ過による処理効果を高めるには、pHなどの処理条件の適切な設定が重要であることが示唆された。

3.3 各種のポリマーによる処理効果

図16と図17は、pH7.0における有機性高分子凝集剤の注入率と色度除去率およびフロックのゼータ電位の関係を示している。まず、除去率の動きに注目すると、カチオン系ポリマーの場合には3.0mg/lまでは注入率の増加とともに除去率が徐々に上昇し、最大値80%程度となるが、その後は急激に低下した。しかしながら、ノニオン系とアニオン系ポリマーの場合、その除去率は注入率が1.0mg/lでそれぞれ27%と20%となるが、注入率をこれ以上増加させると除去率は僅かに低下した。つぎに、フロックのゼータ電位については、カチオン系ポリマーの場合には、注入率の増加に伴ってゼータ電位が上昇し、最大除去率を示すゼータ電位は-9.0mv付近であった。これに対し、ノニオン系とアニオン系ポリマーの場合には、注入率の増加に伴ってゼータ電位は次第に低下して行く。

図18と図19は図16と図17に対応するフロックの粒径分布を示す。カチオン系ポリマーの場合には、粒径5.0 μ m以上の粒子の存在割合は、注入率3.0mg/lまでは著しく上昇するが、その後は急激に減少している。その存在割合は注入率3.0mg/lで最大で82%と

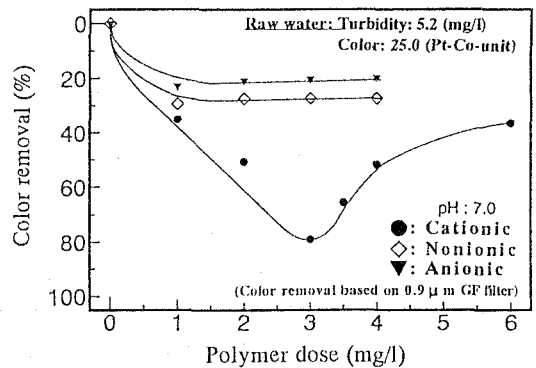


Fig.16 Variation of Color Removal with Polymer Dose at pH 7.0

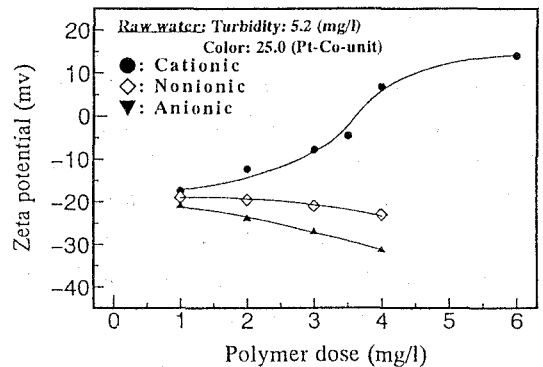


Fig.17 Variation of Zeta Potential with Polymer Dose at pH 7.0

なった。この場合、 $0.45 \sim 5.0 \mu\text{m}$ の中間粒子は極めて少なく、 $0.45 \mu\text{m}$ 以下の未凝集の色度成分と $5.0 \mu\text{m}$ 以上の粒子の二種類に大別される。また、 3.0mg/l 以上の注入率で $5.0 \mu\text{m}$ 以上の粒子は注入率の増加とともに急激に減少するにも関わらず、注入率の広い範囲にわたって $0.45 \mu\text{m}$ 以下の溶解性色度成分の割合は低下している。これは、カチオン系ポリマーの過剰注入は、色度成分の荷電中和ならびにその不溶化過程に影響せず、高分子凝集剤自身の架橋作用能力を低下させることを意味している。その結果、図18に見られるように、粒径 $5.0 \mu\text{m}$ 以上の粒子は減少し、それとは反対に、中間粒子は増えている。また、ノニオン系とアニオン系ポリマーを用いた場合、注入率 1.0mg/l 付近で粒径 $5.0 \mu\text{m}$ 以上の粒子の存在割合がほぼ最大となり、それぞれ20%と18%程度であった。これ以上注入率を増加させてもその割合は高くなりず、色度除去率の動きと一致している。

これらの結果に基づく、有機性高分子凝集剤による色度成分の凝集については、カチオン系ポリマーを用いた場合には、正荷電の有機性高分子と負荷電を帯びている色度成分との間の相互反応、または静電吸引力による色度成分の荷電中和が起こり、ついで形成されたこれらの粒子間の相互凝集、または相互架橋によって粗大な粒子に成長していくものと考えられる。色度成分が大きな有機性高分子の表面に直接付着して除去されることもあると考えられるが、その割合は小さく、ノニオン系ポリマーを用いた場合には30%以下である。ノニオン系とアニオン系ポリマーを用いた場合には、フロクのゼータ電位の動きからも分かるように、これら両凝集剤による荷電中和能力がなく、色度成分の除去は有機性高分子凝集剤への付着のみによると考えられる。しかしながら、その効果は低いため、ノニオン系またはアニオン系ポリマーを単独で用いることは、色度成分の凝集・ろ過処理に有効ではない。

以上のことから、天然有機着色水の直接ろ過に関しては、カチオン系ポリマーの効果が大きいことが分かった。しかしながら、最適ゼータ電位は、PACIとalumの場合とは異なる負の領域にあるため、カチオン系ポリマーを主凝集剤として用いる場合にはその最適注入率の選定が非常に重要となる。

3.4 濁度と色度の平均除去率の関係

図20は改良ジャーテスト、また、図21は直接砂ろ

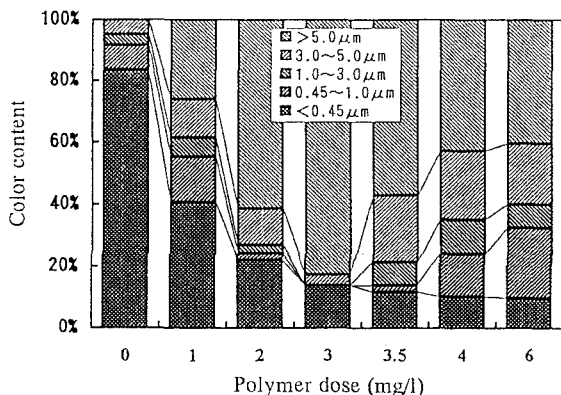


Fig.18 Size Distribution of Floc Particles Formed with Cationic Polymer at pH7.0

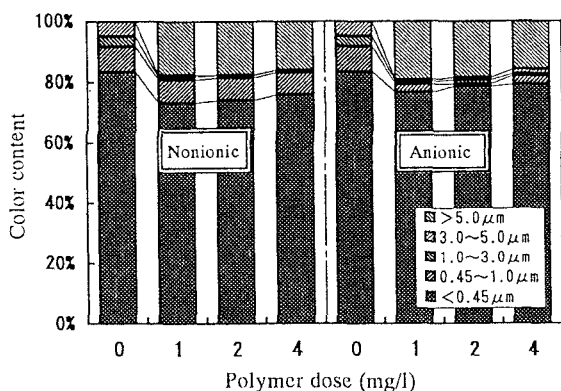


Fig.19 Size Distribution of Floc Particles Formed with Nonionic and Anionic Polymers at pH7.0

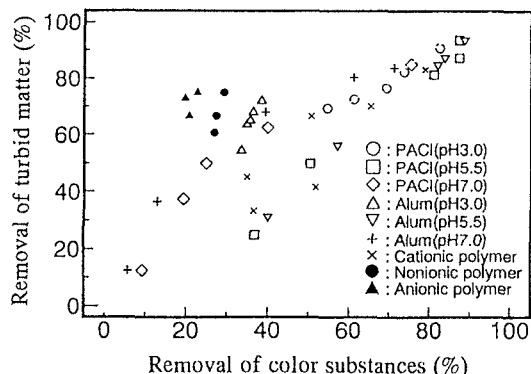


Fig.20 Relationship between Removals of Turbid and Color Matters in Modified Jar-Test

過における濁度と色度の除去率の関係を示している。まず、図20にプロットされたデータから、濁質の除去に対しては、カチオン系よりノニオン系とアニオン系ポリマーの方が、また図21から、PAClを単独に用いるよりもカチオン系ポリマーと併用した場合の効果が大きいことが分かった。また、いずれにおいても、色度除去率より濁度除去率が高く、低濁、高色度の河川表流水の処理においては、濁質は色度成分の挙動に随伴していることが分かった。このことは、同様な原水の凝集・ろ過性を検討する場合には、濁度ではなく色度を指標にすべきであることを示唆している。

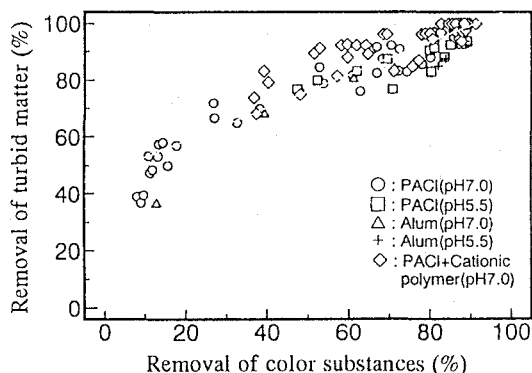


Fig.21 Relationship between Removals of Turbid and Color Matters in Direct Sand Filtration

4. ま と め

本研究で得られた知見をまとめると、以下のようである。

- (1) メンブランフィルター過を付加した改良ジャーテスト法は、極めて短時間のうちに、低濁、高色度河川表流水の直接ろ過による色度除去などの処理性能を評価する上で有効である。
- (2) PAClとalumを用いて直接ろ過の処理効果を予測したところ、色度除去率、フロックのゼータ電位、粒径分布などから判断すると、PAClはalumより大きな効果を示した。
- (3) アルミニウム系凝集剤による色度成分の凝集機構をpHとアルミニウムのサイズによって検討した。その結果、いずれの場合にも、荷電中和によるフロック形成が重要となるが、低注入率で効果を高めるためには架橋作用を同時に関与させなければならないこと、また、原水のpHを最適領域(PAClとalumの場合は5.5付近)に調整することやカチオン系ポリマーの使用(pH7.0で)が有効である。
- (4) 有機性高分子凝集剤による直接ろ過の処理効果を予測したところ、カチオン系ポリマーはノニオン系とアニオン系ポリマーより効果が大きいこと、カチオン系ポリマーを主凝集剤として用いる場合、最適注入率を越えて添加すると高分子凝集剤の架橋能力が低下し、色度成分の処理効率が急速に悪化することを示した。
- (5) 低濁、高色度の河川表流水の凝集・ろ過性の評価に際しては、濁質は色度成分の挙動に随伴するため、色度を指標にするだけで十分である。

5. あとがき

本論では、改良ジャーテスト法が直接ろ過性能の予測に有効であることを示した。しかしながら、この改良ジャーテスト法は、直接ろ過性能の予測だけでなく、伝統的な処理方式を採用している浄水場の水質管理にも有効と考えられる。今後はこうした方面における実証的実験を進めて行きたいと考えている。

最後に、一連の実験に協力いただいた北見市広郷浄水場の萩下隆係員および北見工業大学大学院修士課程の東義洋君に対し心から感謝したい。

(参考文献)

- 1) E.G.Wagner and H.E.Hudson Jr : Low-Dosage High-Rate Direct Filtration, Jour.AWWA, Vol.74, No.5, pp.256-261(1982)
- 2) D.R.Brink, et al : Bench-Scale Evaluation of Coagulants for Low Turbidity Water, Jour. AWWA, Vol.No. pp.199-204(1988)
- 3) H.E.Hudson Jr, et al : Conduct and Use of Jar Tests, Jour.AWWA, Vol.No.pp.218-223(1981)
- 4) J.K.Edzwald, et al : Organics, Polymer, and Performance in Direct Filtration, Jour.Envir.

Engrg. ASCE, Vol.113, No.1, pp.167-185(1987)

- 5) A.P.Black and D.G.Willems : Electrophoretic Studies of Coagulation for Removal of Organic Color, Jour.AWWA, Vol.53, No.5, pp.589-604(1961)
- 6) 丹保憲仁, 伊藤英司 : 天然有機着色水の凝集に関する電気泳動の研究, 水道協会雑誌, 第508号, pp.38-50(1977)
- 7) 丹保憲仁 : アルミニウム電解添加による凝集の研究, 水道協会雑誌, 第522号, pp.39-58(1978)
- 8) T.R.Hundt and C.R.O'Melia : Aluminum-Fulvic Acid Interactions -Mechanisms and Application-, Jour.AWWA, Vol., No.4, pp.176-186(1988)
- 9) N.Narkis and M.Rebhun : The Mechanism of Flocculation Processes in the Presence of Humic Substances, Jour.AWWA, Vol.65, No.2, pp.101-108(1975)
- 10) P.D.Foley : Experience with Direct Filtration at Ontario's Lake Huron Treatment Plant, Jour.AWWA, Vol.72, No.3, pp.162-(1980)
- 11) K.Ebie and S.Amano : Fundamental Behavior of Humic Acid and Kaolin in Direct Sand Filtration of Simulated Natural Surface Water, Wat. Sci. Tech., Vol.27, No.11, pp.61-70(1993)
- 12) 海老江邦雄, 李富生 : 深層ろ過における凝集性濁質の挙動に関する一解析, 水道協会雑誌, 第709号, pp.28-38(1993)
- 13) K.Ebie and F.S.Li : Direct Filtration to Treat Surface Water with High Color Content in a Cold Region, WATER AND WASTEWATER TREATMENT, International Academic Publishers, Vol.1, pp.66-75(Beijing, 1994)
- 14) 海老江邦雄, 李富生 : 活性炭によるフミン質の吸着性能とその機構—水のpHが変動する場合, 土木学会北海道支部論文報告集, 第51号(B), pp.350-355, 1995
- 15) 海老江邦雄, 李富生, 湯浅晶 : 活性炭によるフミン質および微量有害有機成分の吸着特性, 水道協会雑誌, 第732号, pp.1-11(1995)